

## H19/A16 次世代ビームテクノロジーの基盤研究(1節 共同プロジェクト研究の理念と概要, 第4章 共同プ ロジェクト研究)

雑誌名	東北大学電気通信研究所研究活動報告
号	14
ページ	202-204
発行年	2007
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/40801">http://hdl.handle.net/10097/40801</a>

## 次世代ビームテクノロジーの基盤研究

## 〔1〕組織

代表者：嶋脇 秀隆

(八戸工業大学工学部)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

三村 秀典 (静岡大学電子工学研究所)

根尾 陽一郎 (静岡大学電子工学研究所)

松本 貴裕 (スタンレー電気 (株))

新井 学 (新日本無線 (株))

佐藤 信之 (東北大学電気通信研究所)

山本 恵彦 ((独) 産業総合研究所)

横尾 邦義 (東北大学名誉教授)

研究費：物件費 29 万円，旅費 27 万 3 千円

## 〔2〕研究経過

真空電子デバイスは、動作環境が真空であるため、電子の飽和速度が半導体より約1000倍大きく、散乱による損失がない、印加電圧が高い等、本質的に、高周波数、高出力、高効率、耐環境性に優れた特性を有し、現在でもなおマイクロ波からミリ波帯で重要な電子デバイスとなっている。また、電子ビームは、ナノオーダー以下に収束可能、物質との相互作用が大きい等の理由から、電子顕微鏡をはじめとする各種分析装置、描画装置に広く用いられている。その一方で、現在の真空デバイスや装置・機器に電子源として用いられている熱陰極の性能上、高周波数化と高出力・高効率化に付随して巨大化が否めず、新しい電子源の開発が要望されている。近年、ナノテクノロジーを用いて電界電子放射陰極に代表される種々微小電子源が盛んに研究開発されているが、電流駆動能力、エネルギー分散等の点で課題を有しており、指向性に優れ、高電流、低エネルギー分散の微小電子源の開発及びビーム制御技術の確立は、電子ビームデバイスの小型化、高性能化及び真空ナノエレクトロニクスデバイスの実現のために急務な課題となっている。本プロジェクトでは、指向性・面内均一性、電流駆動能力に優れた微小電子源を開発すると共に、小型THz帯BWO等新規小型超高周波デバイス応用や低コストビーム露光技術などに向けたビーム制御技術の基盤を確立することを目

的としている。

本プロジェクトは、本年度が初年度であり、平成19年8月27～30日、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設にて面放射型冷陰極の製作および研究打ち合わせを行った。また、平成19年12月20日、東北大学電気通信研究所にて研究会を開催した。

## 研究会

日時：平成19年12月20日(木) 13:00～18:00

場所：東北大学電気通信研究所2号館W214

## 1. 「nc-Si MOS カソードの高性能化と応用」

嶋脇秀隆 (八戸工業大学)

## 2. 「マグネトロン応用の現状と固体デバイスの開発状況」

新井 学 (新日本無線)

## 3. 「電界電子放射陰極の電流変動機構」

松本貴裕 (スタンレー電気)

4. 「 $\pi$ 共有結合を有する有機材料からの電子放出機構の基礎物性解明と応用」

根尾陽一郎 (静岡大学)

## 5. 「金属と半導体界面における電子の Energy Level Alignment」

山本恵彦 (産業技術総合研究所)

## 〔3〕成果

## (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す成果を得た。

まず第1に、nc-Si MOS 平面型冷陰極の製作と電子放射特性の評価を行った。MOS 構造平面型冷陰極は、製作工程が容易、面放射型であるため放射電子ビームの指向性がよい、エミッションが得られるしきい値電圧が数V程度と低い、低真空動作可能など優れた特長を有し、電子放射効率が低いこととエネルギー分散が大きいことを除けば、ほぼ理想的な真空ナノエレクトロニクスデバイス用電子源といえる。近年、酸化膜層を SiO<sub>x</sub> 層や多孔質シリコンなどのシリコン微結晶層で置きかえた平面型冷陰極において、1%を大幅に超える電子放射が報告されているが、その電子放射機構については十分に解明されているとはいいがたい。また、微結晶系平面型冷陰極は、内部に粒子構造を持つことから、放射電子

のエネルギー分散が大きく、指向性も低下する傾向にある。本研究では、PLA 法と酸素ラジカルを用いて極薄酸化膜で表面被覆されたシリコン微結晶層からなる平面型冷陰極（図1）を製作し、電子放射効率および指向性の改善について検討すると共に、ナノ結晶層を用いた平面型冷陰極の電子放射機構について検討を行っている。図2に電子放射特性を示す。上部Au 薄膜電極の膜厚を5nm 程度に薄膜化することで、電子放射効率 4%を達成した。また、放射電子のエネルギー分布の計測を行い（図3）、放射電子には tunnel emission と field emission の両者の混在を示唆する結果が得られているが、いまだ不明な点も多い。

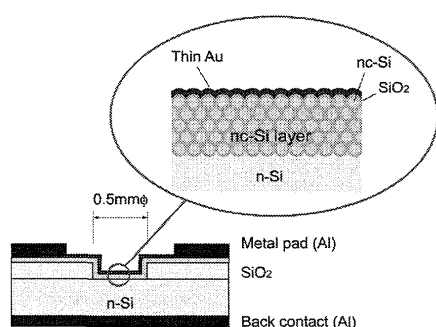


図1 nc-Si MOS 平面型冷陰極

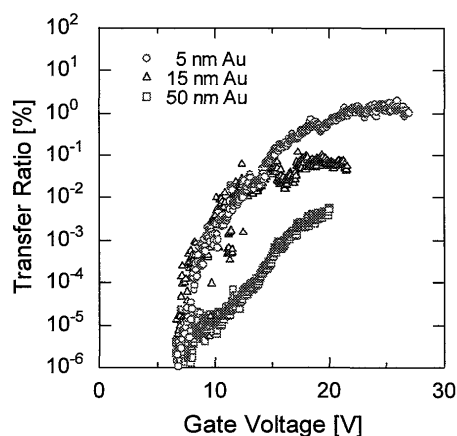


図2 電子放射効率の電極膜厚依存

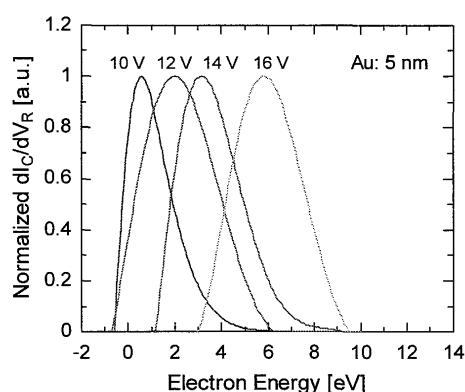


図3 放射電子のエネルギー分布

次に、 $\pi$ 共有結合を有する有機材料からの電子放出機構の基礎物性について検討を行った。近年、カーボンナノチューブやグラフェンなどの有機材料が高電流密度、高安定な電子源材料として、注目されている。しかしながら、有機材料からの電子放射機構については、十分解明されておらず、これを解明することは、新しい電子源を開発する上で極めて重要である。物性を評価するにあたり、電界電子放射パターン(FEM)による観察は、有効な手段である。本研究において、グラフェン構造からの電流放射の詳細を調べた結果、放射パターンが CuPc からの FEM と類似していることが明らかとなった。有機材料からの電子放射は、1958年に Müller らによりタングステンチップ表面に銅フタロシアニン(CuPc)を吸着させた FEM が初めて報告され、分子が吸着したサイトから分子構造と類似した Four Lobe の特徴的なパターンが観察された。その後、Lippel らにより、scanning tunnel microscope (STM)を駆使し CuPc が詳細に測定され、分子軌道が Four Lobe であることが確認され、カーボンナノチューブやグラフェンなどの有機材料がまた森川らにより、Ni, Fe チップを試料に用いた Field ion Microscope が行われ、同様の Four Lobe パターンが観測されている。これらの結果を受け、塚田らにより FIM 測定時に、分子軌道を考慮した影像ガスのイオン化確率が計算され、四葉パターンは CuPc の分子構造、分子軌道を反映した影像と認識され現在に至っている。

本研究では、更に様々な有機低分子からの FEM パターンを測定した結果、図1に示すように、炭素間の結合が $\pi$ 軌道を持つ分子においては共通な FEM パターンになる事が明らかとなった。更に、 $\pi$ 軌道を有する分子の特徴として、タングステンチップ上でグレインを形成可能なものの中に、放射電流特性を著しく向上させる性質があることが確認された（図2）。

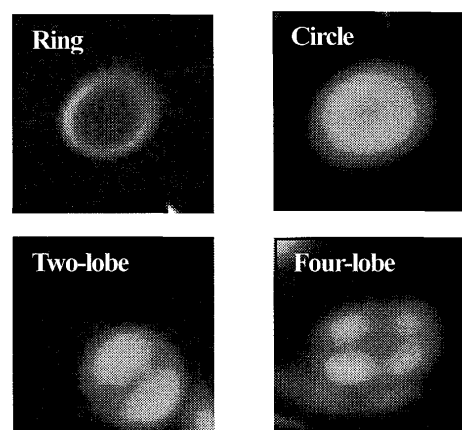


図4  $\pi$ 軌道を有する有機材料からの特徴的なFEMパターン

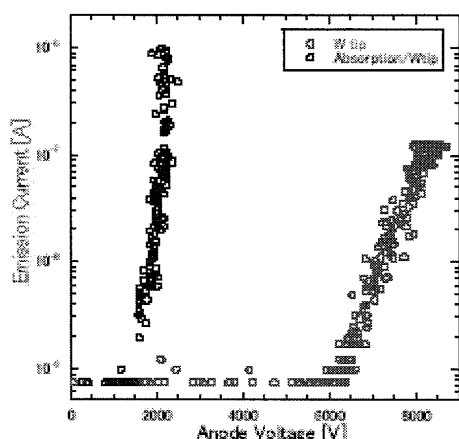


図5 有機低分子グレイン形成後の放射電流変化

### (3-2) 波及効果と発展性など

本研究により、ナノ構造を有する平面型冷陰極からの電子放射機構について理解が深まった。また、nc-Si 層の膜厚、粒径、表面酸化膜界面、ゲート電極膜厚等を制御することで平面型冷陰極の高性能化が期待される。さらに、 $\pi$ 共有結合を有する有機材料からの電子放出機構に対する理解は、電流駆動力に優れた微小電子源を開発する上で重要であり、次世代の電子ビームデバイスおよびビーム制御技術にむけて今後の発展が期待される。

### [4] 成果資料

- (1) H. Shimawaki, Y. Neo, and H. Mimura, "Improvement of emission efficiency of nanocrystalline planar cathodes", Tech. Digest of the 20th Int. Vacuum Nanoelectronics Conf., Chicago, USA, 2007, pp. 106-107.
- (2) Y. Neo, T. Matsumoto, H. Shimawaki, H. Mimura, and K. Yokoo, "The detailed Analysis of field emission under Stabilized Operation using field effect transistor", Tech. Digest of the 20th Int. Vacuum Nanoelectronics Conf., Chicago, USA, 2007, pp. 125-126.
- (3) T. Matsumoto, Y. Neo, H. Mimura, and M. Tomita, "Correlation between field emission current fluctuation and physisorption of gases in graphite-nanoneedle cold cathode", Tech. Digest of the 20th Int. Vacuum Nanoelectronics Conf., Chicago, USA, 2007, pp. 121-122.
- (4) 嶋脇秀隆, 根尾陽一郎, 三村秀典, "シリコン微結晶構造を用いた平面型冷陰極の電子放射特性

(III)", 第 68 回応用物理学学会学術講演会予稿集, No.2, 766, 2007.

- (5) 惣田崇志, 安室千晃, 長尾昌善, 金丸正剛, 堺俊克, 斉藤信雄, 根尾陽一郎, 三村秀典, "エッチバック法を用いたダブルゲート FEA の作製", 第 68 回応用物理学学会学術講演会予稿集, No.2, 767, 2007.
- (6) H. Shimawaki, Y. Neo, and H. Mimura, "Emission Properties of Nanocrystalline Silicon Planar Cathodes", Proc. of 14th Int. Display Workshops, 2007, pp. 2217-2218.
- (7) H. Shimawaki, Y. Neo, H. Mimura, K. Murakami, F. Wakaya, and M. Takai, "Improvement of emission efficiency of nanocrystalline silicon planar cathodes", J. Vac. Sci. Technol. B26, 2008 (*in press*).
- (8) Y. Neo, T. Matsumoto, H. Shimawaki, H. Mimura, and K. Yokoo, "The detailed analysis of field emission under stabilized operation using field effect transistor", J. Vac. Sci. Technol. B26, 2008 (*in press*).
- (9) 根尾陽一郎, 武田匡史, 惣田崇志, 長尾昌善, 松本貴裕, 嶋脇秀隆, 吉田知也, 金丸正剛, 萩原啓, 堺俊克, 斉藤信雄, 青木徹, 三村秀典, 横尾邦義, "Field Emitter Array の要素技術開発", 第 5 回真空ナノエレクトロニクスシンポジウム予稿集, 25-28, 2008.
- (10) 嶋脇秀隆, 根尾陽一郎, 三村秀典, "nc-SiMOS カソードの高効率化に向けて", 第 5 回真空ナノエレクトロニクスシンポジウム予稿集, 29-36, 2008.
- (11) 橋本歩, 惣田崇志, 根尾陽一郎, 松本貴裕, 嶋脇秀隆, 青木徹, 三村秀典, 横尾邦義, "電界集係数緩和を用いた放射電流安定化の提案", 第 55 回応用物理学関係連合講演会予稿集, No.2, 758, 2008.
- (12) 武田匡史, 惣田崇志, 長尾昌善, 吉田知也, 金丸正剛, 堺俊克, 斉藤信雄, 根尾陽一郎, 青木徹, 三村秀典, "エッチバック法を用いたダブルゲート FEA の作製(2)", 第 55 回応用物理学関係連合講演会予稿集, No.2, 760, 2008.